J. Jpn. Bot. **84**: 131–142 (2009)

海産底生性珪藻 *Achnanthes pseudogroenlandica* **Hendey** (珪藻綱) の形態

鈴木秀和[a]，豊田健介[b]，矢崎育子[c]，山口邦久[d]

[a] 東京海洋大学海洋科学部　108-8477 東京都港区港南 4-5-7
[b] 独立行政法人　水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所　739-0452 広島県廿日市市丸石 2-17-5
[c] 首都大学東京理工学研究科　192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1
[d] 東京都小笠原水産センター　100-2101 東京都小笠原村父島清瀬

Morphology of the Marine Benthic Diatom *Achnanthes pseudogroenlandica* Hendey (*Bacillariophyceae*)

Hidekazu SUZUKI[a*], Kensuke TOYODA[b], Ikuko YAZAKI[c] and Kunihisa YAMAGUCHI[d]

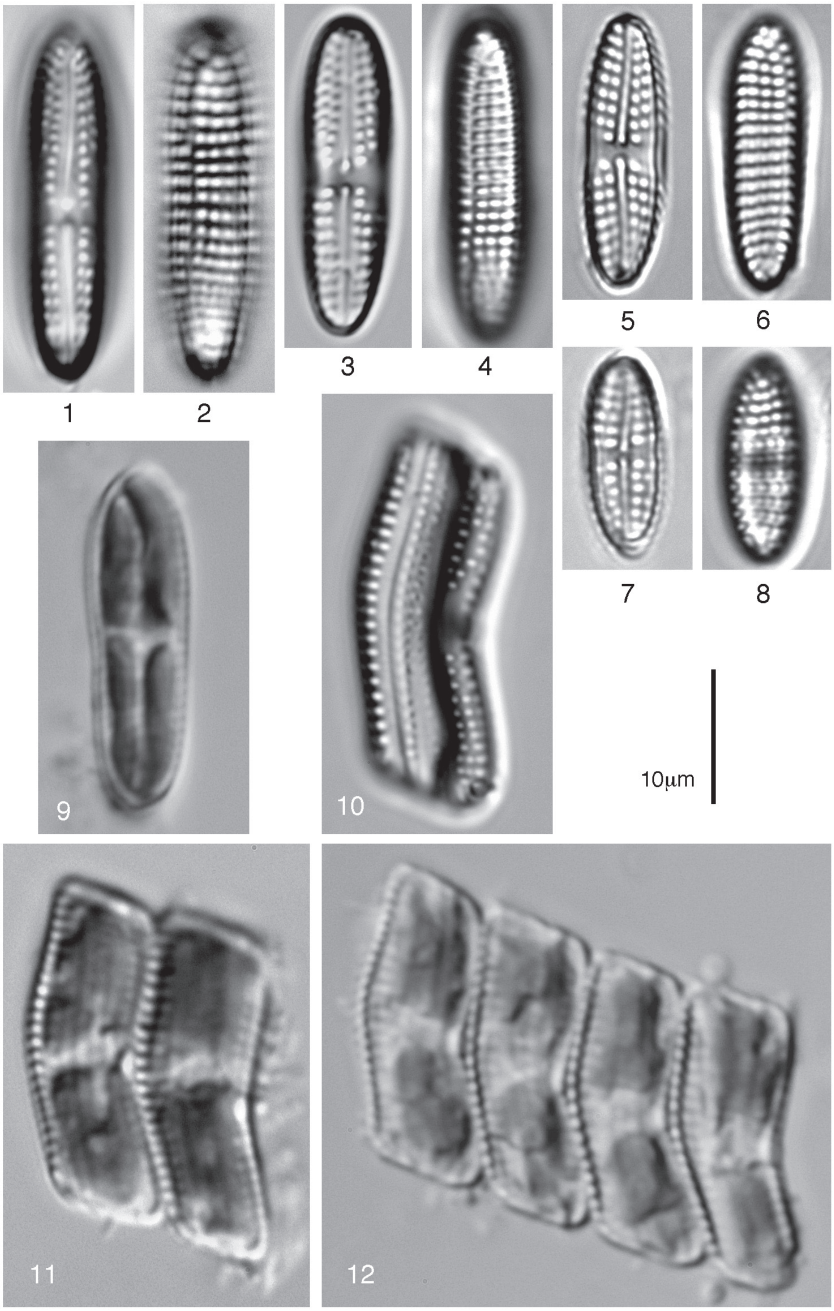
[a]Department of Ocean Science, Tokyo University of Marine Science and Technology,
4-5-7, Konan, Minato-ku, Tokyo, 108-8477 JAPAN;
E-mail: hsuzuki@kaiyodai.ac.jp
[b]National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research Agency,
2-17-5, Maruishi, Hatsukaichi, Hiroshima, 739-0452 JAPAN;
[c]Department of Biological Sciences, Tokyo Metropolitan University,
1-1, Minamiosawa, Hachioji, Tokyo, 192-0397 JAPAN;
[d]Tokyo Metropolitan Ogasawara Fisheries Research Center,
Kiyose, Chichijima, Ogasawara, Tokyo, 100-2101 JAPAN

(Received on December 17, 2008)

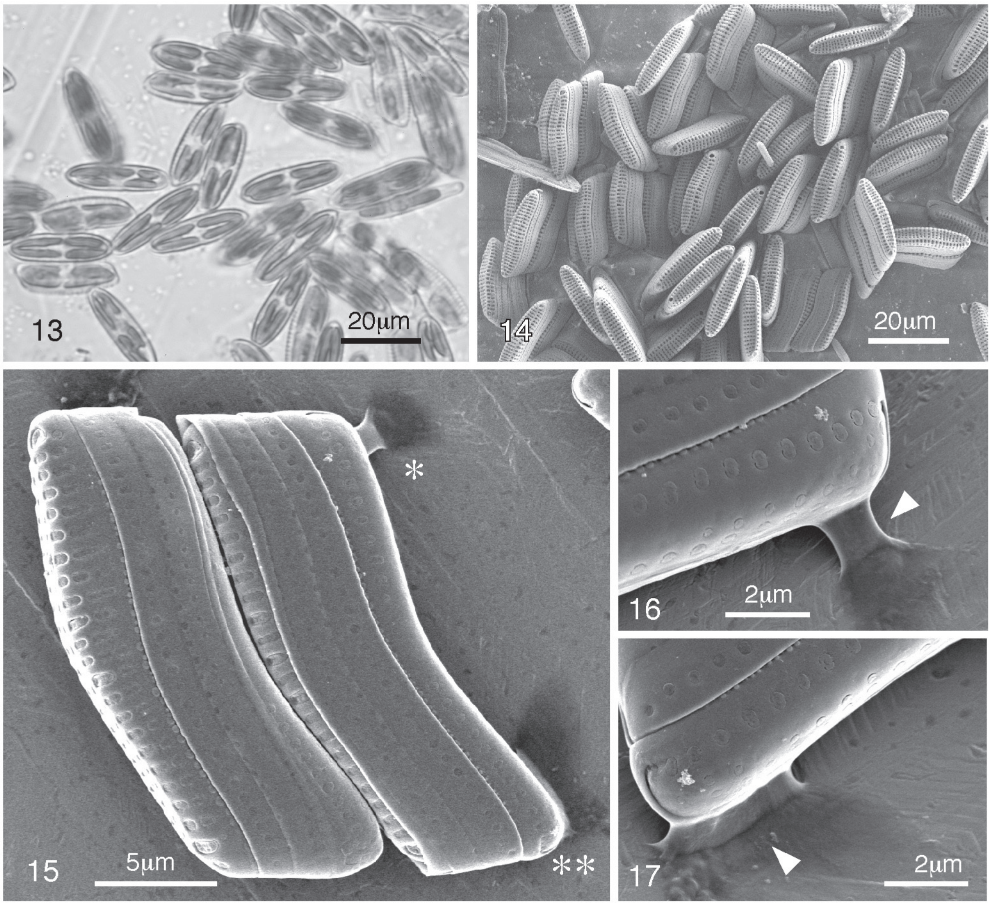
A marine benthic diatom *Achnanthes pseudogroenlandica* Hendey was observed with light microscope and scanning electron microscope. The following morphological characteristics are revealed through this study; i) two plastids, each consisting of two girdle-appressed plates connected by a narrow bridge; ii) lanceolate to slightly clavate valve shape, which is heteropolar in the breadth of valve face and the length of raphe branch; iii) uniseriate striae consisting of round areolae occluded by rota supported by two pegs, and iv) the mature cingula consisted of at least three open bands, a broad valvocopula, the fimbriate second band with ligula, and the third band with ligula. This taxon forms colonies composed of two to four cells and attaches to substrata by the mucilage pad secreted from part of the raphe near both poles.

Key words: *Achnanthes pseudogroenlandica*, marine diatom, morphology.

本種は Hendey（1964）がイギリス・ペンブロークシャー コースト国立公園のミルフォード ヘイブン沿岸の岩礁域で採集した試料から新種記載したものである．その後，カナダ・セントローレンス川河口 (Hudon and Bourget 1981) やウクライナ黒海沿岸のオデッサ湾 (Gusljakov and Gerasimjuk 1984)，ノルウェー沖合いバレンツ海にあるベァー島沿岸 (Metzeltin and Witkowski 1996, Witkowski et al. 2000) から，本邦では山口県長門市仙崎 (Okuno 1970) と高知県室戸海洋深層水施設 (鈴木ほか 2007) からの報告があったが，それらの記載内容は原記載の範囲に留まり，詳細な殻微細構造や生育生態は述べられてい



Figs. 1–12. Light micrographs of *Achnanthes pseudogroenlandica*. 1–8. Raphid valves (1, 3, 5, 7) and araphid valves (2, 4, 6, 8) views. Note that the valves are variable in shape and length. 1–4, 9–12. Chichi-jima Island (MTUF-AL-HS 0964). 5–8. The aquaculture facility in Kochi Prefectural Deep Seawater Laboratory (MTUF-AL-HS 0505). 10. Girdle view. 9, 11, 12. Living cells showing plastids. 9. Valve view of a single cell showing two plastids. 11. Girdle view of a colony of two cells. 12. Girdle view of colony of four cells.



Figs. 13–17. Light micrographs (13), analytical variable pressure scanning electron micrograph (14), and scanning electron micrographs (15–17) of *Achnanthes pseudogroenlandica*. 13. Living cells attached on the polyvinyl chloride plate. 14. Colony attached on the polyvinyl chloride plate. 15–17. Girdle views of cells showing secreted mucilage pads (arrowheads). 16, 17. Enlarged view of the parts marked with single (Fig. 16) and double (Fig. 17) asterisks in Fig. 15.

ない．今回，筆者等は小笠原諸島父島沿岸の潮間帯から採集した個体群とその単種培養株に基づいて，詳細な形態学的観察を行った．その結果，葉緑体の形態や配置，付着生態，および縦溝，胞紋，帯片の微細構造に関する新たな知見を得たので，ここに報告する．

材料と方法

本研究では，小笠原諸島父島二見港に面する海上自衛隊基地旧護岸壁 (27°04’N, 142°11’E) の潮間帯上部から飛沫帯で採集した天然試料 (2007 年 6 月 5 日採集，標本番号 MTUF-AL-HS 0964) とそれに由来する単種培養細胞を主に使用した．培養は人工海水に藻類培養液・KW21(第一製網株式会社，熊本) と含水珪酸ゲル・ゲルカルチャー (富士シリシア化学株式会社，愛知) を添加し (2.5 g/L，適宜補給)，通気，温度 25℃，光強度約 7 μmol $m^{-2}s^{-1}$，12–12 時間の明暗周期の条件下で行い，厚さ 0.5 mm の硬質塩化ビニール板上に繁茂させた．また高知県海洋深層水研究所内の養殖施設（高知県室戸市）から得られた珪藻試料も被殻の形態観察に

使用した (2004年3月26日採集，標本番号 MTUF-AL-HS 0505，試料データは鈴木ほか 2007を参照).

これらの試料を定法 (南雲 1995, 長田・南雲 2001) に従って処理した後，光学顕微鏡および走査電子顕微鏡 (HITACHI-S-4000とS-5000) で観察した．さらに付着様式の観察は，試料が付着した塩化ビニル板を数mm角に切り取り，蒸留水で洗浄し常温で乾燥後，無蒸着で低真空分析走査電子顕微鏡 (analytical variable pressure scanning electron microscope: HITACHI-SU-6600) を用いて行った．また本稿で用いた珪藻の形態に関する術語は小林ほか (2006) に準拠した．

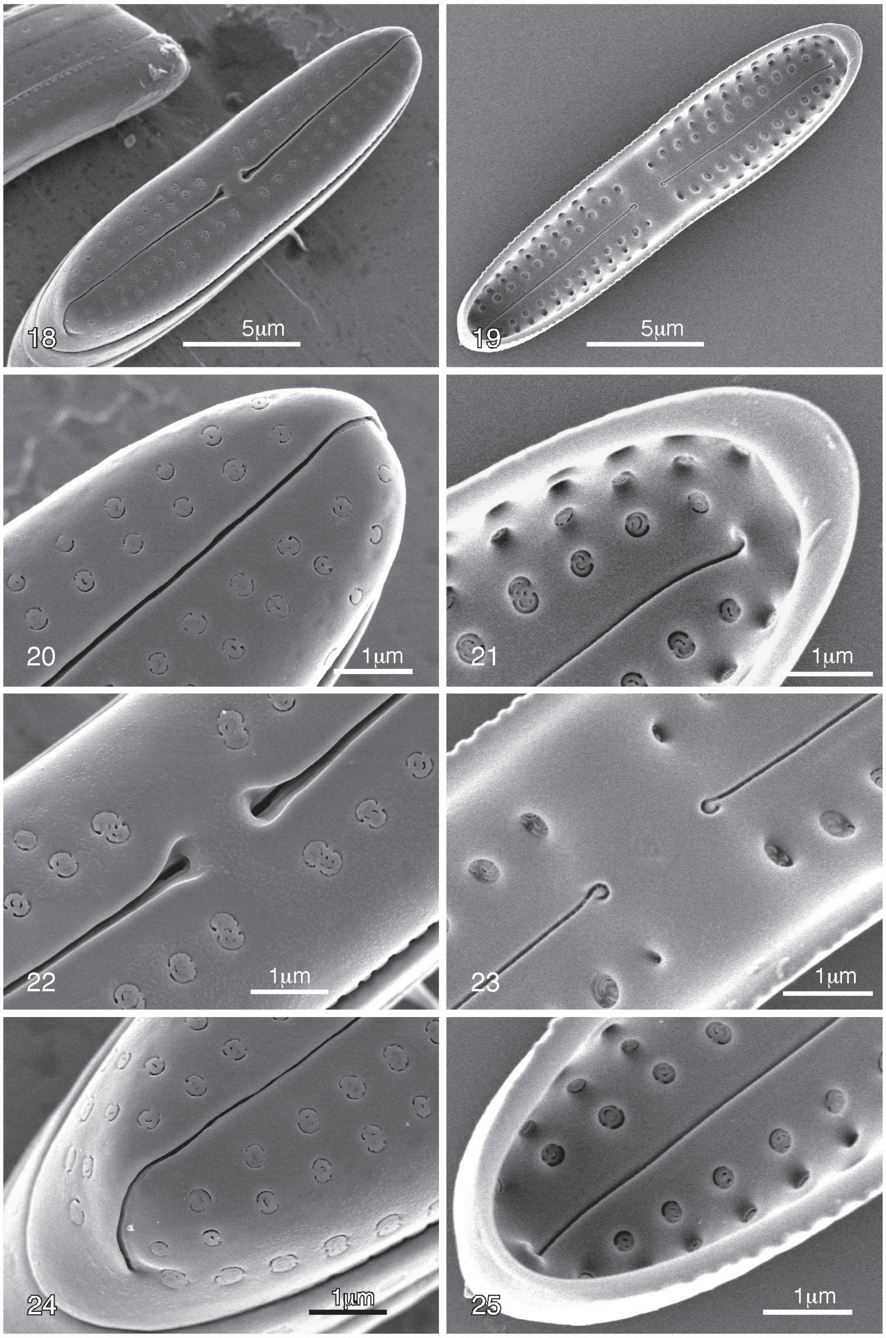
結果と考察

Achnanthes pseudogroenlandica Hendey (1964)

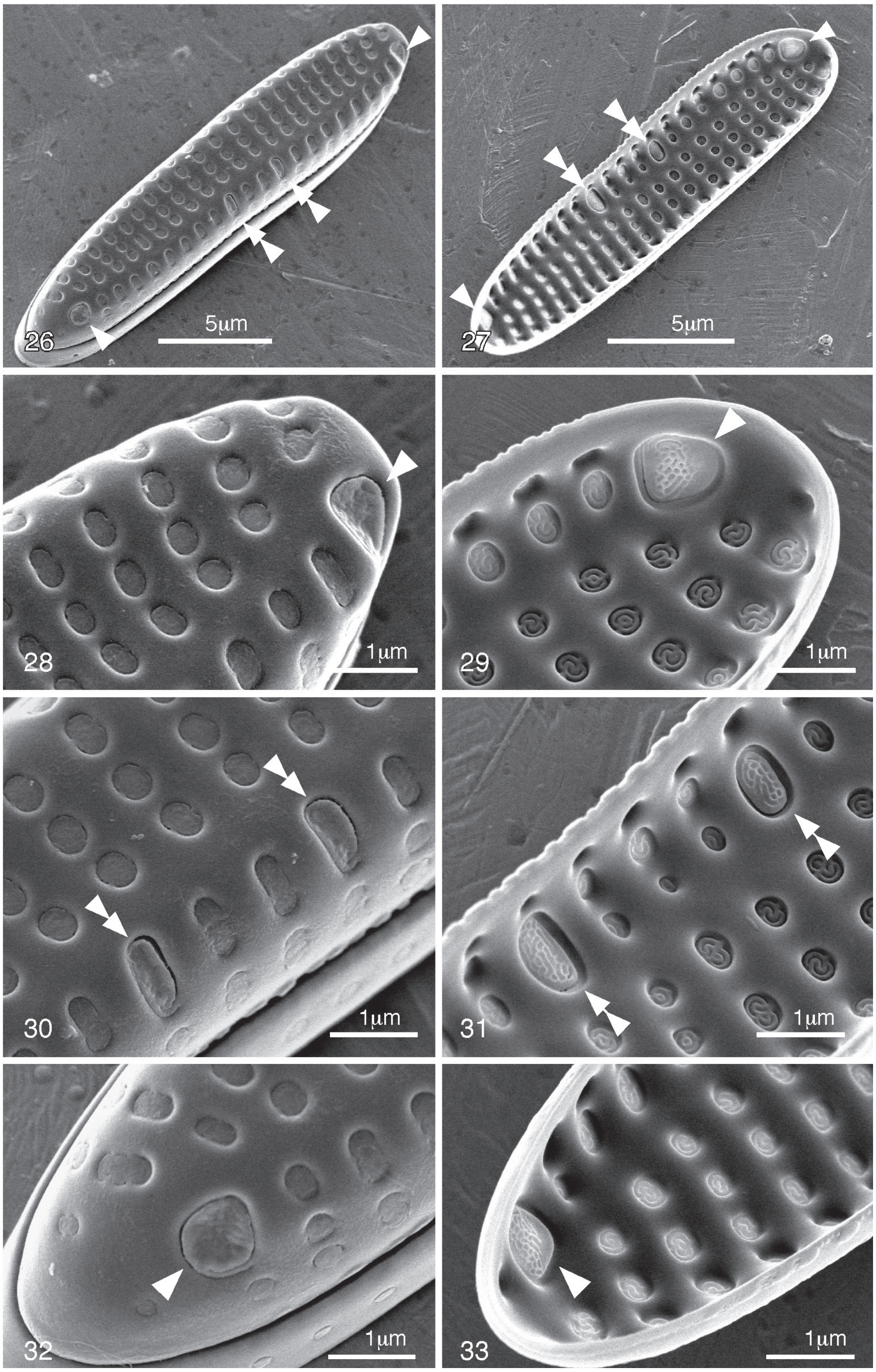
被殻 (frustule) は片方の殻にのみ縦溝 (raphe) をもつ．殻長 14.0 ～ 27.5 μm，殻幅 5.0 ～ 7.5 μm．殻面観 (valve view) の殻形は披針形，あるいはわずかにこん棒形で (Figs. 1-8)，殻幅が最大 1.17 倍 (広い殻幅 / 狭い殻幅 , n = 20) に広く，縦溝枝 (raphe branch) の長さに最大 1.26 倍 (長い縦溝枝の長さ / 短い縦溝枝の長さ , n = 20) の差をもつ異極性 (heteropolar) を示す．高知県室戸海洋深層水施設内で採集された試料では殻幅の差は 1.08 倍 (n = 10)，縦溝枝の差は 1.32 倍 (n = 10) であった．原記載を含め先行研究の写真をもとにこれらを測定した結果，英国沿岸試料の殻幅に差はなかったが，縦溝枝の長さは最大 1.14 倍 (n = 3, Hendey 1964)，黒海沿岸試料では殻幅は最大 1.25 倍，縦溝枝の長さは最大 1.06 倍 (n = 3, Gusljakov and Gerasimjuk 1984)，山口県沿岸試料の殻幅は 1.15 倍，縦溝枝は 1.07 倍 (n = 1, Okuno 1970) であった．帯面観 (girdle view) の殻形は平行四辺形，両殻とも「く」字形に折れ曲がる (Figs. 10–12)．葉緑体は2個，それぞれ帯面に密着した2枚の板状のものが狭い橋状構造で繋がった形状をしている．殻面観でH字形，帯面観で長方形を呈す (Figs. 9, 11–13)．細胞は縦溝殻 (raphid valve) の両殻端から粘液を出し (Figs. 15–17)，単体または2～4個の連なった群体で基質に付着する (Figs. 11–15).

縦溝殻：殻面はほぼ平ら，殻肩 (valve shoulder) は滑らかな曲面，殻套 (valve mantle) は高い (Figs. 15, 18)．縦溝は直線状 (Figs. 18, 19)．殻外側における縦溝枝の中心側末端は孔状 (Fig. 22)，極側末端は極裂 (fissure) をなし，同じ側に曲がる (Figs. 20, 24)．一方，殻内側の中心側末端は同じ側に曲がる鍵状裂溝 (Fig. 23)，極側末端は直線状でわずかに蝸牛舌状 (helictoglossa) になる (Figs. 21, 25)．縦溝の切断面は横向きのV字形 (<) のひだ状構造 (plicate raphe) である (Fig. 35, 矢印)．中心域 (central area) は十字節 (stauros) をなし，殻縁に近くなるにしたがい三角形状に広がる (Fig. 22)．殻の内面ではわずかに肥厚する (Fig. 23)．条線 (stria) は，10 μmに10～12本で，1列の胞紋 (areola) からなる．殻の中央部では1個で，殻端に近くになるにしたがい2～3個，やや放射状に並ぶ (Fig. 18)．各胞紋は円形の孔状胞紋で，外側近くに張る輪形篩板 (rota) により閉塞される (Fig. 34, 矢印)．篩板は長軸 (縦溝) と平行に突き出た2本の棒状体 (peg) により支えられ (Fig. 36, 矢印)，ほぼ同心円状に配置する小孔がある (Fig. 38)．殻套には接殻帯片 (valvocopula) との縫合部 (suture) に円形または楕円形の小顆粒が1列並ぶ (Fig. 40, 矢印).

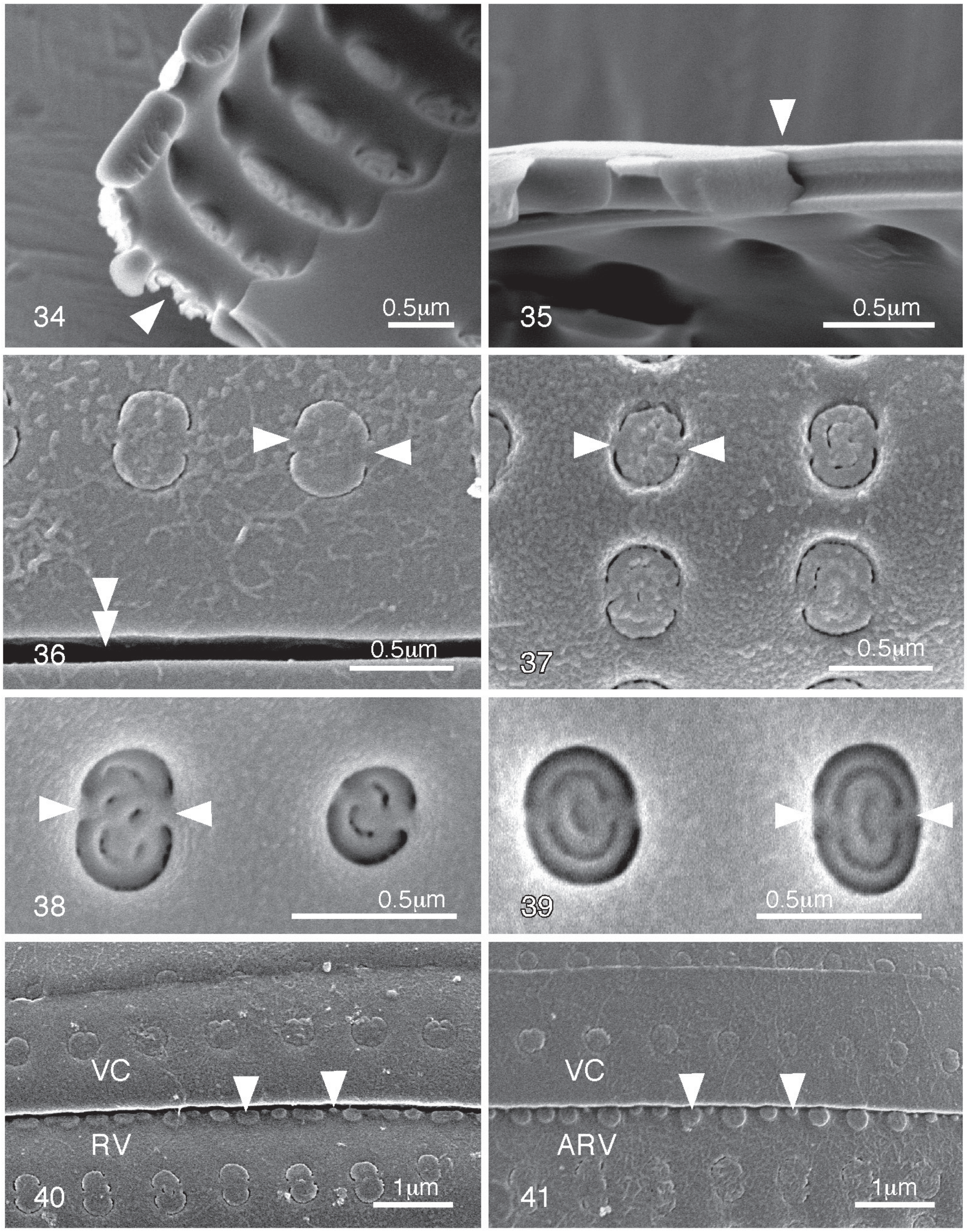
無縦溝殻 (araphid valve): 殻面はほぼ平ら (Fig. 26)，あるいはドーム状に膨らみ，縦溝殻に合わせて「く」字状に折れ曲がる．軸域 (axial area) はどちらか一方の殻縁に偏り，なめらかに湾曲する (Figs. 26, 27)．条線は，10 μmに9～10本で，殻面全体でほぼ平行に配列する．円形または楕円形の1列の孔状胞紋からなり，縦溝殻と同構造の輪形篩板により閉塞される (Figs. 37, 39)．胞紋列が短い側の条線の両殻端部には，胞紋の3～4倍の大きさの殻端胞紋 (terminal orbiculus) が1個ずつある (Figs. 26–29, 32, 33, 矢印)．殻中央部にも胞紋よりやや大きい楕円形の胞紋が2個，条線2～4列分離れて存する (Figs. 26, 27, 30, 31, 二重矢印)．これらの胞紋の構造は，条線を構成する胞紋と同じである．多くの *Achnanthes* 属で見られる縁辺肋 (marginal



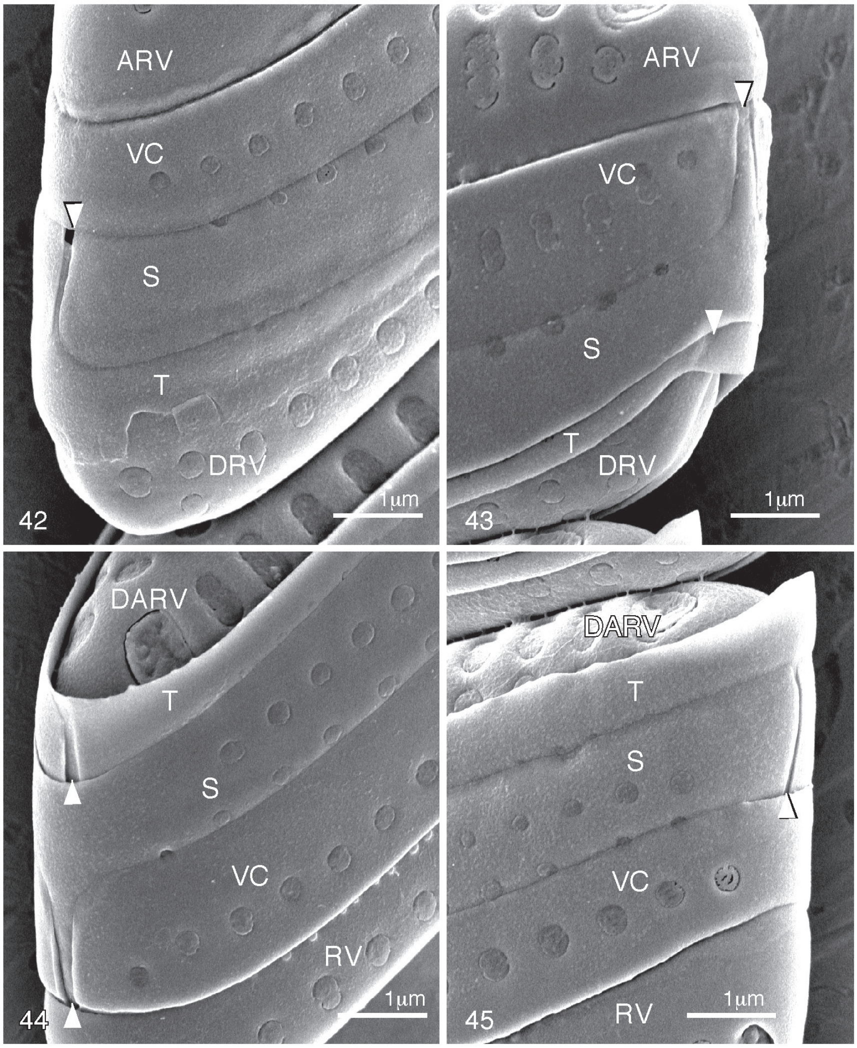
Figs. 18–25. Scanning electron micrographs of raphid valves of *Achnanthes pseudogroenlandica*. 18, 20, 22, 24. External views of raphid valves. 20, 24. Terminal raphe fissures curved on the same side to each other. 22. The central area, stauros showing outer raphe fissures with central pores. 19, 21, 23, 25. Internal views of raphid valves. 21, 25. Terminal raphe fissures with the lightly deflected, diminutive helictoglossae. 23. The central area showing the thickened stauros and the hooked raphe fissures curved on the same side to the terminal fissures.



Figs. 26–33. Scanning electron micrographs of araphid valves of *Achnanthes pseudogroenlandica*. 26, 28, 30, 32. External views of araphid valves. 27, 29, 31, 33. Internal views of araphid valves. 28, 29, 32, 33. Terminal areas with terminal orbiculi (arrowheads). 30, 31. Central area with the large areolae (double arrowheads), which are similar to the terminal orbiculus in morphology.



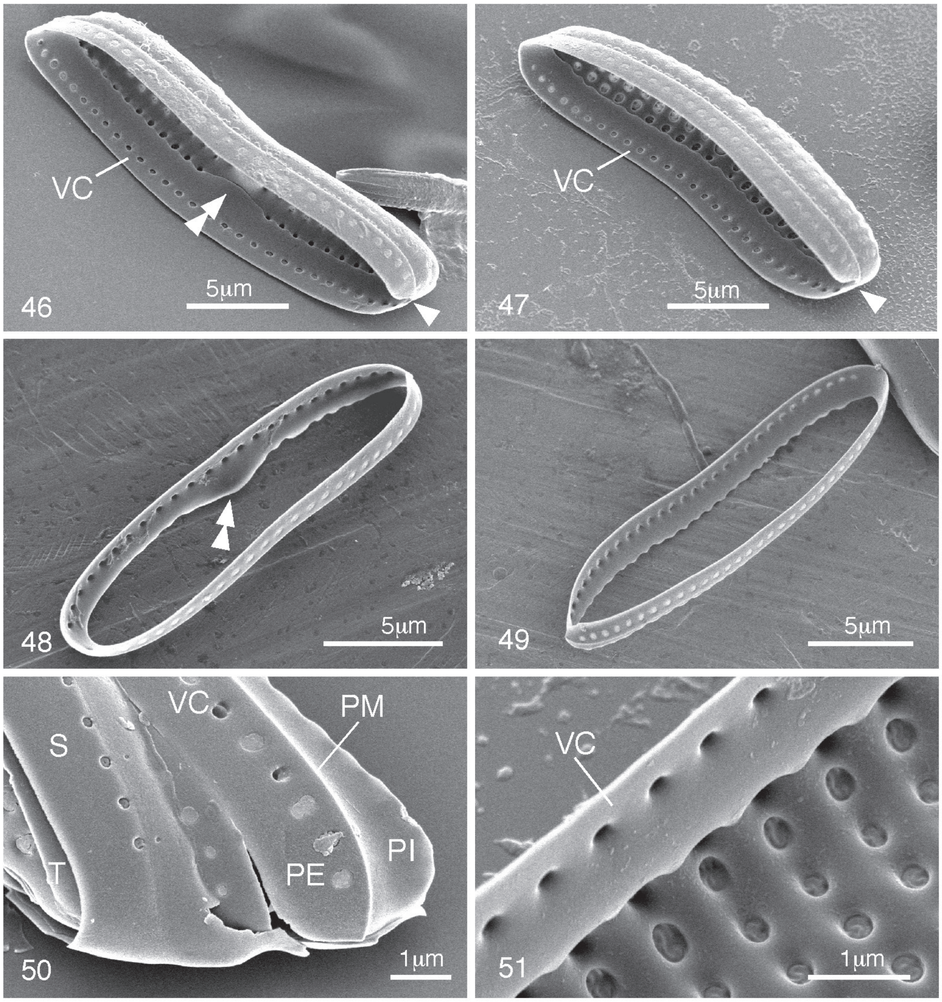
Figs. 34–41. Scanning electron micrographs of *Achnanthes pseudogroenlandica*. 34–36, 38, 40. Raphid valves. 37, 39, 41. Araphid valves. 34. Internal view of the areola occluded by rota (arrowhead) located near the outer surface. 35. Cross-sectional view of the plicate raphe (arrowhead). 36, 37. External view of the areolae with rotae supported by two pegs (arrowheads). Double arrow indicates the raphe. 38, 39. Internal view of the areolae with rotae supported by two pegs (arrowheads). 40, 41. Detail of suture with the small granules (arrowheads). VC, RV and ARV. Valvocopula. raphid valve and araphid valve, respectively.



Figs. 42–45. Scanning electron micrographs of cingula of *Achnanthes pseudogroenlandica*. 42, 43. Both distal ends of the araphid valve. 44, 45. Both distal ends of the raphid valve. RV, ARV, DRV and DARV. Raphid valve, araphid valve, daughter raphid valve and daughter araphid valve, respectively. VC, S and T. Valvocopula, the second band and the third band, respectively. Arrowhead indicates an open part of each band.

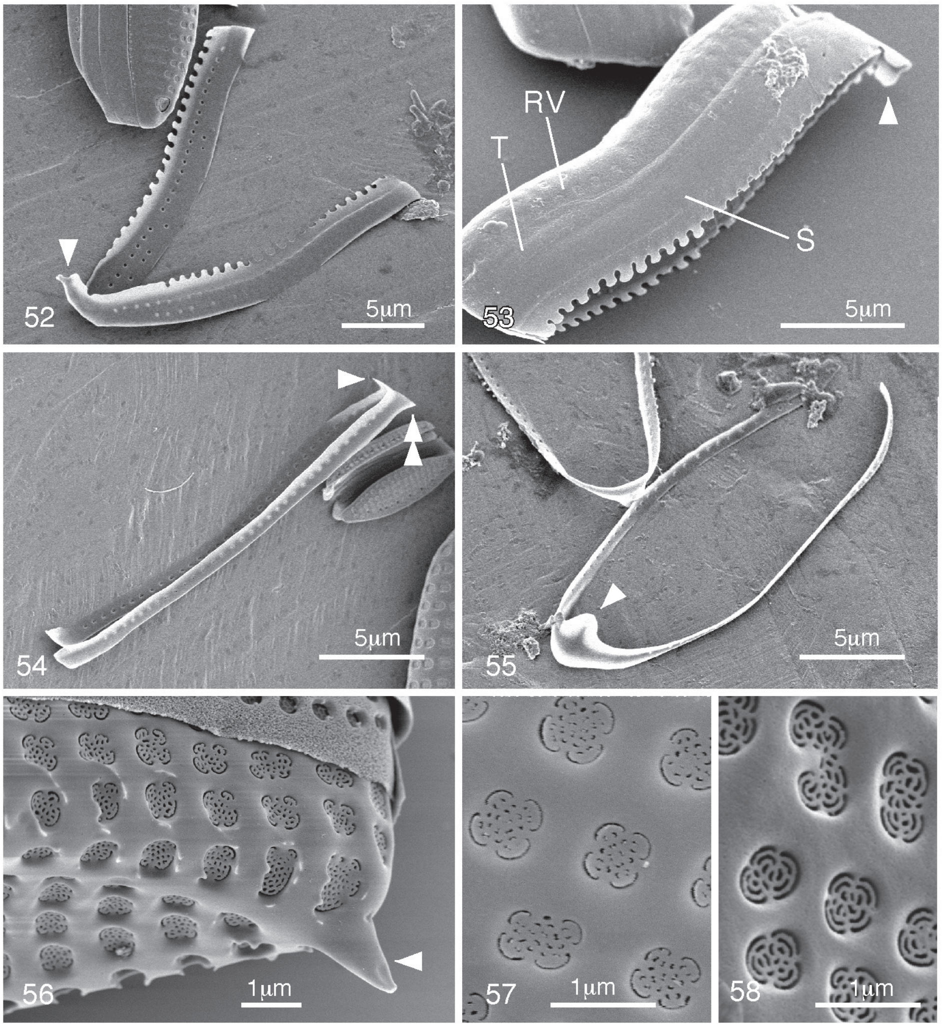
ridge, cf. *A. subconstricta* (Meister) Toyoda in Toyoda et al. 2003) や縁辺針 (marginal spine, Fig. 56, 矢印 : *A. brevipes* C. Agardh var. *intermedia* (Kützing) P. T. Cleve) はない．殻套には縦溝殻と同様に縫合部に円形の小顆粒が1列並ぶ (Fig. 41, 矢印).

半殻帯 (cingulum): 両殻とも3タイプ各1枚の計3枚の帯片 (band) からなり，すべて片端開放型である (Figs. 42–47, 矢印). 両殻の接殻帯片の表出部 (pars exterior) は幅が広く，そのほぼ中心線上に1列の胞紋が並ぶ (Fig. 50). 各胞紋の大きさは殻面のそれとほぼ同形同大で，輪形篩板で閉塞される (Figs. 48, 49). 帯片中脈 (pars media) は明瞭．帯



Figs. 46–51. Scanning electron micrographs of valvocopulae of *Achnanthes pseudogroenlandica*. 46, 48, 50. Valvocopulae of raphid valves. 47, 49, 51. Valvocopulae of araphid valves. 46, 47. Internal views of raphid and araphid valves with valvocopulae. VC. Valvocopula. Arrowhead indicates its opening at one apex. Double arrowhead indicates the broad process. 48. Valvocopula of raphid valve. Double arrowhead indicates the broad process. 49. Valvocopula of araphid valve. 50. Detail of valvocopula of raphid valve. VC, S and T. Valvocopula, the second band and the third band, respectively. PE, PI and PM. Pars exterior, pars interior and pars media, respectively. 51. Detail of internal view of araphid valve with valvocopulae. VC. Valvocopula.

片内接部 (pars interior) は表出部よりも薄いが，幅は同程度で胞紋はない (Fig. 50)．縁に滑らかな鋸歯状突起をもつ．各突起は殻内面の肋 (costa) に合わさり (Figs. 46, 47, 51)，縦溝殻の接殻帯片中央部の幅広い突起は十字節の三角形状の部分に符合する (Figs. 46, 48，二重矢印)．第2帯片 (second band) の表出部も広く，帯片中肋に沿って1～2列の胞紋が並ぶ (Figs. 52, 53)．各胞紋は接殻帯片のそれとほぼ同じか小さいが，輪形篩板で



Figs. 52–58. Scanning electron micrographs of *Achnanthes pseudogroenlandica* (52–55), *A*. *brevipes* var. *intermedia* (56), *A*. *brevipes* var. *brevipes* (57), and *A*. *longipes* (58). 52. The second band with ligula (arrowhead) of the raphid valve. 53. The second band with ligula (arrowhead) of the araphid valve. S, T and RV. The second band, the third band and the raphid valve, respectively. 54. The third band with ligula (arrowhead) and antiligula (double arrowhead) of the raphid valve. 55. The third band with ligula (arrowhead) of the araphid valve. 56. Detail of the araphid valve with the marginal spine (arrowhead). 57, 58. The areolae occluded by complex cribrae.

閉塞される．帯片内接部は表出部よりも薄く，幅も1/2程度 (Fig. 50)．縁には接殻帯片よりも大きく指状に突出した鋸歯状突起をもつ (Figs. 52, 53)．開放部の反対側に大きな小舌 (ligula) を有し (Figs. 52, 53, 矢印)，接殻帯片の開放部を裏打ちしている (Figs. 42–45, 矢印)．第3帯片 (third band) は最も幅が狭く薄い．帯片表出部には1列の胞紋が並ぶ (Figs. 54, 55)．内接部には第2帯片より小さい小舌を有し (Figs. 54, 55, 矢印)，第2帯片の開放部を裏打ちしている (Figs. 42–45, 矢印)．一方，表出部側にはより小さな副小舌

(antiligula) をもつ (Fig. 54, 二重矢印).

本研究において, *A. pseudogroenlandica* は, 沿岸岩礁域の潮間帯上部および飛沫帯から採集された．この点は原記載とも一致する．加えて Hendey(1964) は本種がそのゾーンに生息するカサガイ類 (limpet) の重要な餌料となっていることも指摘している．

Achnanthes 属において，以下の分類形質は重要である (Round et al. 1990, Toyoda et al. 2005a, 2005c)．a) 被殻の外形，b) 葉緑体の形，数，配置 , c) 条線をなす胞紋列の数，d) 縦溝殻の中心域の形状，e) 無縦溝殻の軸域の位置，殻端胞紋の有無および縁辺肋や縁辺針の有無，f) 接殻帯片の形態 , g) 群体の形状および付着様式．これらに基づいた本種の注目すべき形態学的および生態学的特徴は次の 4 点である．i) 被殻は異極性である．これまで本属内で極性をもつとして明記された分類群は *A. marginata* Grunow (Cleve and Grunow 1880) のみで，本種が 2 例目である．ii) 両殻およびすべての帯片の胞紋が輪形篩板で閉塞される．これに対し，先行研究 (Lange-Bertalot and Krammer 1989, Round et al. 1990, Toyoda and Williams 2004, Toyoda et al. 2003, 2005b, 2005c, 2006) で明らかになった *Achnanthes* 属の胞紋は，すべて肉趾状突起 (vola) に支えられた多孔篩板 (cribrum) であり (Fig. 57: *A. brevipes* C. Agardh var. *brevipes*, Fig. 58: *A. longipes* C. Agardh)，輪形篩板による閉塞は本属では新知見である．iii) 接殻帯片内接部は幅が広く，第 2 帯片は鋸歯状突起をもつ．これらは殻と帯片，および各帯片間の重なりを強固にしていると考えられる．iv) 縦溝殻の両端から分泌された短い粘液パットで基質に付着する．*A. subconstricta* や *A. yaquinensis* McIntire & Reimer に見られる長い粘液柄 (mucilage stalk; Round et al. 1990, 鈴木・田中 2006) をもたず，また多数の細胞が連なった立体的群体 (Toyoda et al. 2003, 2005b) も形成しない．これら iii) と iv) は，潮間帯上部等の波当たりの強い場所の生育に適応した特徴と推察される．

本研究を遂行するに当たり，日本歯科大学生物学研究室の南雲 保教授と東京海洋大学藻類学研究室の田中次郎教授には，終始，有益なご助言をいただいた．また高知県工業技術センターの阿部祐子氏には，同県海洋深層水研究所養殖施設からの試料の採集や提供に多大な便宜をはかっていただいた．深く感謝の意を表する．なお，本研究の一部は科学研究費 (20580197) の助成を受けたものである．記して感謝の意を表する．

引用文献

Cleve P. T. and Grunow A. 1880. Beiträge zur Kenntnis der arctischen Diatomeen. Kongl. Svenska Vetensk.-Akd. Handl. **17**, 3–121, pls 1–7.

Gusljakov N. E. and Gerasimjuk V. P. 1984. O nekotorykh novykh i interesnykh vidakh diatomovykh vodoroslei Chernogo moray. *Bacillariophyta* pro mari nigro nova et curiosa. Nov. Sist. Nitz. Rast. **21**: 14–16.

Hendey N. I. 1964. An introductory account of the smaller algae of British coastal waters. Part V. *Bacillariophyceae* (Diatoms). Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Fisheries Investigations. Series IV. 317 pp. HMSO, London.

Hudon C. and Bourget E. 1981. Initial colonization of artificial substrate: community development and structure studied by scanning electron microscopy. Can. J. Fish. Aquat. Sci. **38**: 1371–1384.

小林 弘，出井雅彦，真山茂樹，南雲 保，長田敬五 2006. 小林弘珪藻図鑑第 1 巻 . 531 pp. 内田老鶴圃，東京 .

Lange-Bertalot H. and Krammer K. 1989. *Achnanthes*: eine Monographie der Gattung mit Definition der Gattung *Cocconeis* und Nachträgen zu den *Naviculaceae*. Bibl. Diatomologica **18**: 1–393.

Metzeltin D. and Witkowski A. 1996. Diatomeen der Bären-Insel. Süßwasser- und marine Arten. Icon. Diatomologica **4**: 3–232.

南雲 保 1995. 簡単で安全な珪藻被殻の洗浄法 . Diatom **10**: 88.

Okuno H. 1970. Marine diatoms. In: Helmcke J. G. and W. Krieger (eds.), Diatomeenschalen im elektronenmikroskopischen Bild, Teil VII: pls. 614–714. J. Cramer, Lehre.

長田敬五，南雲 保 2001. 珪藻研究入門 . 日本歯科大学紀要（一般教育系）**30**: 131–141.

Round F. E., Crawford R. M. and Mann D. G. 1990. The Diatoms. 747 pp. Cambridge University Press, Cambridge.

鈴木秀和，田中次郎 2006. 珪藻の付着戦略 . 接着の技術 **26**: 38–42.

鈴木秀和，阿部祐子，藤田大介，南雲 保 2007. 高

知県海洋深層水研究所の養殖施設から採集した付着珪藻. 海洋深層水研究 **8**: 27–37.

Toyoda K. and Williams D. M. 2004. Description of *Achnanthes* Bory (*Bacillariophyceae*) based on Kützing's type slides and materials I: New morphological information on *Achnanthes brevipes* var. *intermedia* (Kütz.) Cleve. Diatom **20**: 159–165.

Toyoda K., Nagumo T., Osada K. and Tanaka J. 2003. Morphological investigations of *Achnanthes javanica* Grunow and *A. subconstricta* (Meister) comb. nov. Diat. Res. **18**: 365–375.

Toyoda K., Cox E. J., Sims P. A. and Williams D. M. 2005a. The typification of *Achnanthes* Bory based on *Echinella stipitata* Lyngbye, with an account of the morphology and fine structure of Lyngbye's species. Diat. Res. **20**: 375–386.

Toyoda K., Idei M., Nagumo T. and Tanaka J. 2005b. Fine-structure of the vegetative frustule, perizonium and initial valve of *Achnanthes yaquinensis* (*Bacillariophyta*). Eur. J. Phycol. **40**: 269–279.

Toyoda K., Nagumo T., Tanaka J. and Williams D. M. 2005c. Taxonomy and fine structure of a marine diatom *Achnanthes grunowii*, nom. nov. J. Jpn. Bot. **80**: 1–8.

Toyoda K., Tanaka J. and Williams D. M. 2006. Morphological note on the marine diatom *Achnanthes longipes* C. Agardh from Japanese material. Diatom **22**: 27–33.

Witkowski A., Lange-Bertalot H. and Metzeltin D. 2000. Diatom flora marine coasts I. Icon. Diatomologica **7**: 1–925.